

рис.1. Зависимость эффективного коэффициента размножения от времени для четырех топливных композиций.

Согласно результатам расчёта, смена делящегося изотопа с U^{235} на Pu^{239} снижает длительность топливной кампании на 36%. Смена воспроизводящего изотопа с U^{238} на Th^{232} незначительно снижает кампанию топлива на 7%. Смена и делящегося и воспроизводящего изотопа (композиция $(Th^{232}+U^{233})O_2$) продляет топливную кампанию на 30%, что является значительным приростом. Это показывает, что торий обладает лучшими воспроизводящими свойствами, чем уран на протяжении кампании ядерного топлива.

Полученные результаты позволяют вновь обратить внимание научного сообщества на преимущества ториевого ядерного цикла. В дальнейшем планируется проверить влияние диаметра ядерного топлива на длительность топливной кампании, а также произвести расчёт в прецизионных пакетах программ (MCU-PTR, MCNP и проч.).

Список публикаций:

- [1]. Саркисов А.А. Новое направление развития – ядерная энергетика малой мощности. //Атомная энергия. – 2011. – Т. 111. – № 5. – С. 243–245.
 [2] Beliavskii S. V. et al. Effect of fuel nuclide composition on the fuel lifetime of reactor KLT-40S //Nuclear Engineering and Design. – 2020. – Т. 360. – С. 110524.

Измерение зарядов остатков испарения в экспериментах по синтезу Ra и Th на новом газонаполненном сепараторе ядер отдачи DGFRS-2

Ибадуллаев Дастан Алишерович

Сагайдак Роман Николаевич, Утенков Владимир Климентьевич, Попеко Андрей Георгиевич

Лаборатория ядерных реакций, Объединённый институт ядерных исследований

Попеко Андрей Георгиевич, к.ф.-м.н.

Dastan_96.com@mail.ru

С 1998 года в Лаборатории Ядерных Реакций (ЛЯР) Объединённого Института Ядерных Исследований (ОИЯИ) на газонаполненном сепараторе (Dubna Gas-Filled Recoil Separator) проводятся эксперименты по синтезу сверхтяжёлых элементов (СТЭ) [1, 2]. В реакциях с $^{242, 244}Pu$ и $^{245, 248}Cm$ в серии экспериментов, проведенных в 1998 – 2005 годах, были открыты новые элементы периодической системы Менделеева с $Z = 114$ и $Z = 116$. Наиболее тяжелый элемент ^{294}Og с $Z = 118$ был зарегистрирован в 2002, 2005, 2012 и 2015 годах.

Во всех этих экспериментах использовались пучки тяжёлых ионов ^{48}Ca , ускоренные на циклотроне U-400. Дальнейшее использование ионов кальция в качестве налетающего снаряда не позволяет синтезировать элементы тяжелее ^{294}Og , поскольку не существует достаточно стабильного мишенного материала. Для проведения дальнейших исследований СТЭ в ЛЯР ОИЯИ создали Фабрику СТЭ на базе нового ускорителя тяжёлых ионов DC-280, на котором проектная интенсивность пучка ионов составляет 10 рпА [3], что в свою очередь в 10 раз больше интенсивности, достигнутой на предыдущем ускорителе. Первой экспериментальной установкой Фабрики СТЭ является новый газонаполненный сепаратор DGFRS-II с конфигурацией магнитов QDQQD (Q – квадруполь, D – диполь). Основная особенность этой установки – высокая эффективность сбора синтезируемых сверхтяжёлых ядер, которая по расчетам в простой геометрии превышает 60% для мишеней толщиной до 0.5 мг/см², что в 2 раза выше достигнутой эффективности на предыдущем сепараторе DGFRS-I. Сепаратор спроектирован в ОИЯИ и произведен фирмой SIGMAPHI.

В 2019 году были проведены тестовые эксперименты по синтезу $^{214, 215}Ra$, $^{216, 217}Th$ для определения оптимальных параметров нового сепаратора DGFRS-II. В данной работе показаны некоторые результаты данного эксперимента. Вычислен заряд синтезированного ядра в середине обоих дипольных магнитов

сепаратора для каждой реакции, измерена дисперсия дипольных магнитов, вычислена потеря энергии пучка тяжёлых ионов и остатка испарения при прохождении через сепаратор.

Список публикаций:

[1] Yu. Ts. Oganessian and V. K. Utyonkov, *Rep. Prog. Phys.* 78, 036301 (2015).

[2] Yu. Ts. Oganessian and V. K. Utyonkov, *Nucl. Phys. A* 944, 62 (2015).

[3] G. G. Gulbekian, S. N. Dmitriev, Yu. Ts. Oganessian, B. N. Gikal, I. V. Kalagin, S. L. Bogomolov, I. A. Ivanenko, N. Yu. Kazarinov, "Status of the DC-280 cyclotron project," in *Proceedings of the 21st International Conference on Cyclotrons and their Applications*, Zurich, Switzerland, pp. 278–280 (2016)

Трансмутация радиоактивных отходов в ускорителях заряженных частиц

Пономарев Арсений Владимирович

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Чертков Юрий Борисович, к.ф.-м.н.

windmill2013@yandex.ru

Основная идея ускорителей состоит в следующем: урановая (ториевая, плутониевая и т. п.) мишень облучается пучком сильно разогнанных протонов. Сталкиваясь с ядром мишени, протон выбивает из него несколько очень быстрых протонов и нейтронов, которые в свою очередь выбивают частицы из других ядер урана. Образуется каскад, лавина постепенно замедляющихся частиц. Замедлившиеся частицы уже не расщепляют ядра, а захватываются ими, превращая уран в плутоний, который интенсивно делится, выделяя большое количество тепла и испуская много новых нейтронов. Выход тепла может в сотню и более раз превосходить затраты энергии на ускорение первичных протонов.

Очень важно, что в отличие от обычного атомного реактора в такой «электроядерной системе» нет самоподдерживающейся цепной реакции. Все зависит от «подсветки» ускорителя – выключается ток и процесс немедленно прекращается. Никакой опасности взрыва. Более того, если к урановой, ториевой или плутониевой мишени примешаны другие ядра, например, осколки деления, то расчет и выполненные эксперименты показывают, что под действием интенсивного потока нейтронов они превращаются в стабильные ядра или в изотопы с более коротким временем жизни.

Например, радиоактивный изотоп технеция Tc^{99} , в больших количествах образующийся в реакторах АЭС (его мировая наработка составляет 6 т/год), поглотив нейтрон, превращается в стабильный изотоп рутения. Долгоживущие трансураны, захватывая нейтрон, распадаются на более легкие ядра с меньшим временем жизни. Происходит трансмутация – пережигание ядерных отходов.

Схематично электроядерная установка выглядит следующим образом (рис.1).

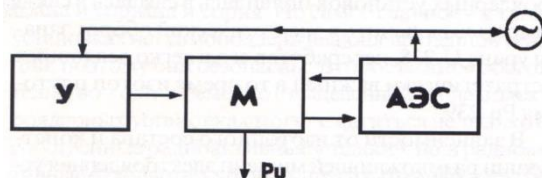


рис.1. Принципиальная схема электроядерной установки

Ускоритель (У) бомбардирует пучком протонов мишень-реактор (М). Горячий теплоноситель питает парогенераторы АЭС и, охлажденный, возвращается к мишени. Вырабатываемая энергия питает ускоритель и подается в сеть. Нарбатываемый в мишени плутоний и образующиеся там радиоактивные отходы в зависимости от типа установки выгружаются, либо пережигаются в самой мишени. В мишень периодически добавляется новая порция урана, а через определенное количество лет из нее удаляются накопившиеся стабильные и очень быстро распадающиеся ядра. Последние экономичнее не перерабатывать в мишени, а подождать их распада в простом и дешевом «могильнике».

Электроядерная мишень-реактор мало отличается от реакторов АЭС. Различие состоит лишь в дополнительной центральной вставке, которую бомбардирует пучок протонов. В ней выделяется очень много тепла за счет ионизационных процессов и она должна быть изготовлена из плавящегося под действием протонов металла, лучше всего из свинца. В качестве теплоносителя тоже должен быть использован жидкий металл – использующийся для охлаждения реакторов АЭС натрий или более безопасная в эксплуатации и слабо поглощающая нейтроны смесь свинца с висмутом. Такой теплоноситель используется на атомных подводных лодках.

Список публикаций:

[1] Скачек М.А. *Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС* / М.А. Скачек. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. – 448 с.

[2] Курындина А.В. *О транспортировании отработавшего ядерного топлива реакторов типа ВВЭР* / А.В. Курындина, А.А. Строганов, Л.А. Курындина // *Ядерная и радиационная безопасность*. – 2009. – № 2. – С. 16-23.

[3] В.С. Барашенков, «Электроядерная технология трансмутации радиоактивных отходов и производства тепловой и электрической энергии». *Георесурсы* – 2000, С. 44-46.